EGL ENGENHARIA

Contratação de Consultoria Especializada para o Aperfeiçoamento do Plano Operacional de Serviços, Estudo de Viabilidade Econômica e Tarifária e Modelo de CCO do Sistema Tronco-Alimentador Rodoviário com Previsão de Integração com o Transporte Fluvial – BRT Belém, e respectivos Termos de Referência e Editais para efeito licitatório do Sistema BRT Belém

Produto I – Plano Operacional dos Serviços de Transporte

TOMO III – Detalhamento dos Planos de Linha dos Serviços e Modelo de Gestão

Anexo - Microssimulação

Brasília, Maio de 2015

SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

Sumário

1 Contextualização 5
2 Simulador e Modelos de Simulação utilizados 6
2.1 PTV VISSIM 6
2.1.1 Car Following 6
2.1.2 Modelo de mudança de faixa 7
2.1.3 Modelo de distâncias laterais 8
2.2 Capacidade e saturação de um sistema viário 8
3 Simulação 9
3.1 Premissas 9
3.2 Cenários e dados avaliados 9
3.3 Vias modeladas 10
3.4 Dados de entrada 11
3.4.1 Semáforos 11
3.4.2 Linhas de transporte público 12
3.4.3 Volume de veículos 13
4 Metodologia de coleta de dados 14
4.1 Fila 14
4.2 Velocidade 16
4.3 Volume de veículos e número de pessoas transportadas 17
4.4 Capacidade 17
5 Resultados 18
6 Alternativas para a circulação 24
7 Considerações Finais 28

SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

Índice de Tabelas

Tabela 1: Principais vias do modelo 11
Tabela 2: Pontos de verificação de fila 15
Tabela 3: Caracterização da situação de fila 15
Tabela 4: Rotas avaliadas nos cenários 16
Tabela 5: Vias de verificação de volume 17
Tabela 6: Ocupação por tipo de veículo 17
Tabela 7: Evolução das filas entre o momento atual Atual e a Fase 1 18
Tabela 8: Variação de velocidade entre os cenários Atual e Fase 1 20
Tabela 9: Resultados para os corredores de BRT 23
Tabela 10: Análise de capacidade nas interseções – Atual x Fase 1 23
Tabela 11: Teste 1 – variação de velocidade nas rotas 27
Tabela 12: Teste 1 – variação do tamanho médio de fila 27
Tabela 13: Teste 1 – variação da capacidade 27

SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

Índice de Figuras

Figura 1: Modelo Car Following 7

Figura 2: Modelo de mudança de faixa..... 7

Figura 3: Área modelada e vias 10

Figura 4: Programação semafórica de duas fases 12

Figura 5: Exemplo de linhas de ônibus e pontos de parada (em vermelho) 13

Figura 6: Rotas de decisões dos veículos..... 14

Figura 7: Exemplo de contadores de fila (linha rosa) antes de semáforos..... 15

Figura 8: Participação dos modos de deslocamento pelo número de passageiros – Cenário Atual..... 21

Figura 9: Participação dos modos de deslocamento pelo número de passageiros – Cenário Fase 1..... 22

Figura 10: Participação dos modos de deslocamento pelo número de passageiros – Cenário Fase Plena 22

Figura 11: Conflito de conversão na Avenida Governador José Malcher..... 24

Figura 12: Conversão do corredor na travessa Dom Romualdo de Seixas 25

Figura 13: Avenida Governador José Malcher x Avenida José Bonifácio 26

Figura 14: Avenida Nazaré x Avenida José Bonifácio 26

SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O presente relatório faz parte das atividades previstas para o desenvolvimento do Produto I – Plano Operacional dos Serviços de Transporte- do contrato nº 045/2014 celebrado entre a EGL Engenharia LTDA – EPP e a Superintendência Executiva de Mobilidade Urbana de Belém (SeMOB), decorrente do Processo Administrativo nº 1444053/2014, referente à Tomada de Preços nº 001/SeMOB/2014, cujo objeto é a Contratação de Consultoria Especializada para o Aperfeiçoamento do Plano Operacional de Serviços, Estudo de Viabilidade Econômica e Tarifária e Modelo de CCO do Sistema Tronco-Alimentador Rodoviário com Previsão de Integração com o Transporte Fluvial – BRT Belém, e respectivos Termos de Referência e Editais para efeito licitatório do Sistema BRT Belém.

O já mencionado Produto I vislumbra a elaboração dos seguintes relatórios:

a) TOMO I – Diagnóstico dos estudos, com o aperfeiçoamento do Projeto de Referência;
b) TOMO II – Alternativas de Planos de Serviços Operacionais e de modelo de Gestão Institucional (em consonância com o BRT Metropolitano e adequação do órgão de gerência municipal); e
c) TOMO III – Detalhamento dos Planos de Linha dos serviços e modelo de gestão.

O relatório aqui exposto diz respeito ao TOMO III – Detalhamento dos Planos de Linha dos serviços e Modelo de Gestão, tendo como objetivo apresentar a Microssimulação realizada para análise de circulação de veículos observando os seguintes cenários:

1) Situação Atual – sem BRT;
2) Situação Futura Fase 1 – BRT em operação a partir de janeiro de 2016;
3) Situação Futura Fase Plena – BRT em plena operação

SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

2 SIMULADOR E MODELOS DE SIMULAÇÃO UTILIZADOS

2.1 PTV VISSIM

A ferramenta computacional que será utilizada no presente estudo é chamada VISSIM sendo o acrônimo de *Verkehr In Städten SIMulation* que, em alemão, significa Simulação de Tráfego em Áreas Urbanas e consiste em um simulador para abordagens microscópicas, capaz de modelar diferentes situações de tráfego, possibilitando a análise e otimização do funcionamento de interseções e das próprias redes. Nas suas últimas versões este simulador inclui também um módulo para a simulação do tráfego de pedestres, mas essa funcionalidade não foi utilizada nas simulações realizadas, já que o fluxo de pedestres não é o escopo deste relatório.

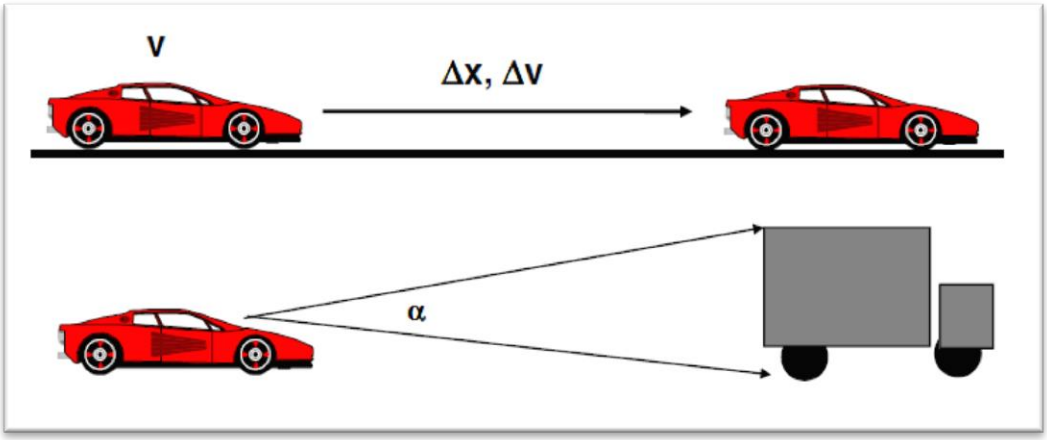
Os principais modelos utilizados pelo VISSIM associados às características comportamentais dos veículos são os seguintes:

- Modelo Car Following de Wiedemann / 74;
- Modelo de mudança de faixa;
- Modelo de distâncias laterais.

2.1.1 Car Following

O modelo de *car following* calcula a aceleração e a velocidade do veículo a partir da posição relativa ao veículo da frente. Conforme a magnitude do afastamento, o modelo é classificado em três regimes com propriedades distintas: movimento livre, movimento seguidor e movimento seguidor aproximado. Os motoristas obedecem aos limites de aceleração mínimo e máximo informados e objetivam atingir a velocidade desejada atribuída na geração do veículo.

Figura 1: Modelo Car Following

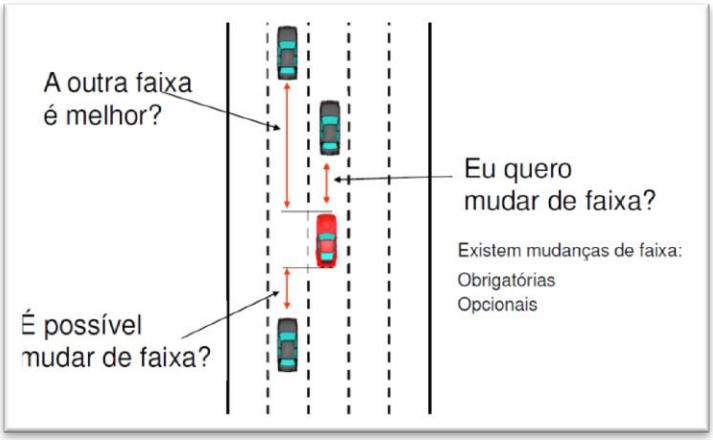


Fonte: PTV, 2015

2.1.2 Modelo de mudança de faixa

O modelo de mudança de faixa é baseado em aceitação de brechas. Os desejos de mudança de faixas se dão por cinco motivos: atingir uma parada de ônibus, evitar incidente ou faixa restrita para circulação, viabilizar conversão na próxima interseção, mover para faixa reservada para o tipo de veículo ou para ultrapassagem de um veículo mais lento.

Figura 2: Modelo de mudança de faixa



Fonte: PTV, 2015

SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

2.1.3 Modelo de distâncias laterais

Este modelo tenta representar na simulação o comportamento dos motoristas com relação às distancias laterais. O modelo se baseia na velocidade e no tipo de veículo.

2.2 Capacidade e saturação de um sistema viário

A capacidade de uma via é a mensuração do escoamento de tráfego que a via suporta em um dado período de tempo. Existem vários métodos para cálculo da capacidade de via que, em sua maioria, partem de um valor médio geral para uma dada largura (ex. 2000 veic/h/faixa/sentido), ao qual são aplicados redutores em função das condições físicas (visibilidade, existência de acostamento, sinalização, etc.). No Brasil, por praticidade e demonstrada confiabilidade, a prática tem adotado o método simplificado de Webster estabelecido no Manual de Semáforos do Denatran (1984). Este método é derivado da norma inglesa que propõe, como estimativa da capacidade de uma via, a seguinte relação:

$$C = S \times \frac{g_{ef}}{c}$$, onde:

C: Capacidade da via (em veic/h)
S: Fluxo de Saturação da via (em veic/h)
gef: tempo de verde efetivo (para interseções semaforizadas)
c: duração do ciclo semafórico total naquela aproximação
e

$$S = 525 \times l$$, onde:

l : largura da via (em metros)

O Nível de Serviço é o indicador da saturação do fluxo de tráfego de uma via. A determinação do Nível de Serviço é em geral dada pela correspondência V/C (Volume/Capacidade) sendo utilizado na maioria dos estudos o Volume horário mais

SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

carregado do dia, geralmente na hora pico da manhã, e a Capacidade, obtida em função das características físicas e/ou operacionais da via.

3 SIMULAÇÃO

3.1 Premissas

As premissas utilizadas nas simulações para os veículos foram com relação aos seguintes *inputs*: máxima aceleração, aceleração desejada, máxima desaceleração, desaceleração desejada e velocidade desejada.
Estes *inputs* são determinados mediante funções de distribuição para cada tipo de veículo com o objetivo de garantir as características de aleatoriedade do modelo, por tanto, serão utilizadas as funções de distribuição padrão da ferramenta, isto devido à falta de informação para determinar cada uma destas funções.

3.2 Cenários e dados avaliados

Os cenários representam ambientes em momentos diferentes do processo de implantação do BRT Belém. Eles não são previsões de futuro, mas a articulação de possibilidades futuras que podem ser simuladas e avaliadas mediante aqueles cenários. Para o desenvolvimento do estudo, foram definidos três tipos de cenários.

- Cenário 1: Representando as configurações da rede e os fluxos veiculares atuais sem operação do sistema BRT;
- Cenário 2: Estimado para o dia 10 de Janeiro de 2016, ele representa a fase 1 de implantação do sistema de BRT, com corredores implantados do terminal Mangueirão até São Brás.
- Cenário 3: Mostra a situação após implantação plena do sistema.

Os cenários definidos consideram o arranjo operacional e desenho específicos de cada linha de transporte público para cada momento. A simulação representa intervalos de **15**

minutos do pico da tarde entre às 18h e 19h, sendo montada visando a comparação dos seguintes parâmetros entre os cenários:

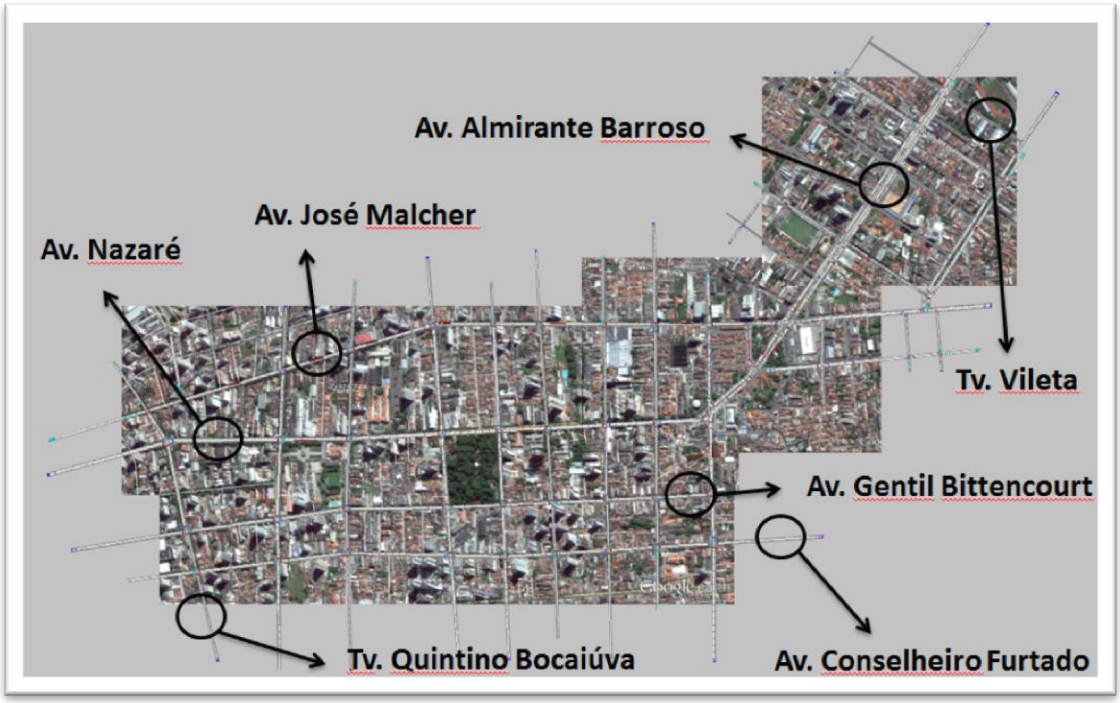
- Tempo de fila em pontos próximo às interseções semaforizadas definidas;
- Velocidade/tempo de percurso nas rotas escolhidas;
- Volume de veículos e quantidade de pessoas que passam por determinados pontos do modelo;
- Saturação das vias com base nos volumes obtidos.

3.3 Vias modeladas

A área modelada mostrada na **Figura 3** é composta de duas partes: a região central de Belém entre a Travessa Quintino Bocaiúva e a Praça da Leitura (São Brás) e a região marginal à Avenida Amirante Barroso até a altura da Travessa Vileta. A

Tabela 1 traz a realção das principais vias do modelo.

Figura 3: Área modelada e vias



SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

Tabela 1: Principais vias do modelo

Vias do modelo	
Av. Almirante Barroso	Av. José Bonifácio
Av. José Malcher	Tv. Castelo Branco
Av. Nazaré	Tv. 14 de Abril
Av. Gentil Bittencourt	Tv. 03 de Maio
Av. Conselheiro Furtado	Tv. 09 de Janeiro
Tv. Vileta	Av. Alcindo Cacela
Tv. Humaitá	Tv. 14 de Março
Tv. Chaco	Av. Gen. Deodoro
Tv. Curuzu	**Av. Quintino Bocaiúva**
Tv. Antônio Baena	

3.4 Dados de entrada

O *software* requer uma alimentação de dados antes do início da simulação, tais como programas semafóricos, relação do volume de veículos entrando em cada via, linhas de ônibus e seus intervalos, paradas de ônibus, entre outros.

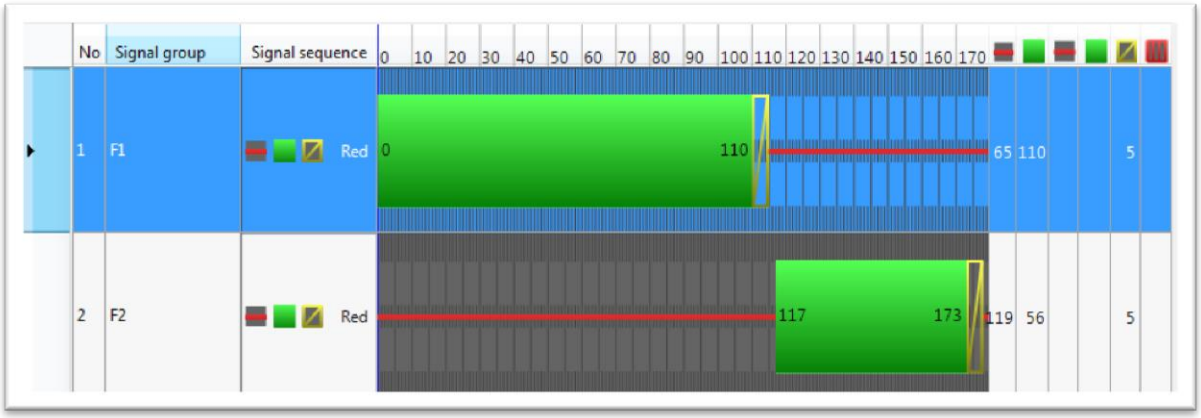
Para fornecer estes dados ao programa, foi necessário obter os valores reais coletados em campo pela empresa Jaime Lerner Arquitetos Associados (JLAA) e pela Superintendência Executiva de Mobilidade Urbana de Belém (SeMOB).

3.4.1 Semáforos

Os dados referentes ao tempo semafórico, localização dos semáforos nas interseções e diferenciação entre semáforos de veículos e de pedestres foram fornecidos pela SeMOB. Para as interseções sem informação, foram aplicadas configurações parecidas com as de interseções próximas na rede, respeitando-se as relações entre as vias (principal e

secundária). Abaixo é apresentado um exemplo de como essas programações são inseridas no programa.

Figura 4: Programação semafórica de duas fases



3.4.2 Linhas de transporte público

Foi utilizado para alimentar as rotas de ônibus no programa o intervalo das linhas apresentados conforme planilha de dados operacionais do STPP (Sistema de Transporte Público de Passageiros) BELÉM 2013, fornecido pela SeMOB.

Cada ônibus entra na malha viária e segue sua rota até a posterior saída da malha, parando nos pontos de parada que houverem no caminho (inseridos conforme identificação no Google Street View). As linhas de transporte público foram inseridas de acordo com o arranjo operacional de cada momento do sistema. Os dois cenários futuros de implantação do BRT são caracterizados pela exclusão e o rearranjo operacional de algumas dessas linhas e a inclusão de linhas troncais e alimentadoras do sistema BRT.

SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

Figura 5: Exemplo de linhas de ônibus e pontos de parada (em vermelho) inseridas no modelo.

3.4.3 Volume de veículos

O volume dos veículos (*Vehicle Inputs*) é inserido no programa a partir do início de cada via (*link*), e em seguida se distribui pela malha viária. Cada um desses *inputs* foi inserido com o objetivo de garantir que o volume correto de veículos atravessasse determinadas interseções com informações de fluxo obtidas a partir das pesquisas da JLAA e do Plano Diretor de Transporte Urbano (PDTU/2001).

A pesquisa do PDTU foi complementar à da JLAA, pois esta última contemplava apenas a região do centro de Belém. No entanto, a pesquisa do PDTU estava defasada e foi necessário criar uma projeção. Essa projeção baseou-se na expansão da frota de veículos em Belém de 2002 até 2013 (Ministério das Cidades, Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN), e a partir dos dados de crescimento adotou-se a mesma proporção para os volumes de veículos em cada interseção. Para os dois cenários futuros foi utilizado o mesmo método de projeção de volumes, para os anos de 2016 (Fase 1) e 2020 (Fase Plena).

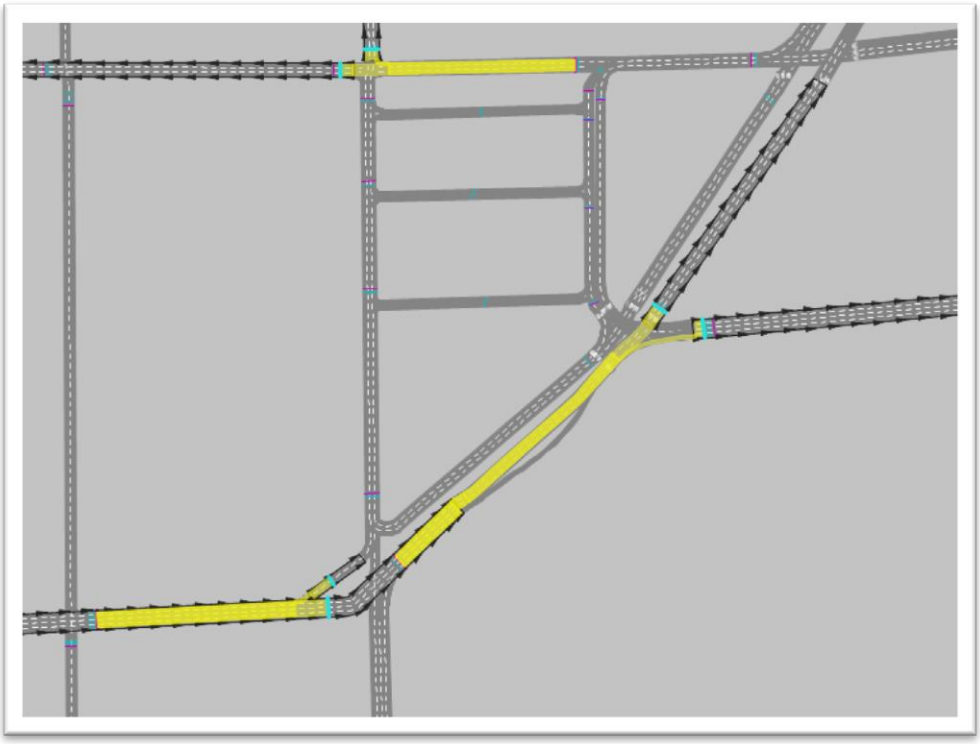
Para garantir que o volume desejado de veículos passe pelas interseções, utilizou-se o recurso de rota (*Vehicle Routes)* onde é possível direcionar uma proporção de veículos

SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

para uma direção específica. É de extrema importância ressaltar que as proporções utilizadas para distribuição de fluxos foram as mesmas em todos os cenários. Logo, são simulados cenários **conservadores,** já que a implantação de corredores de ônibus naturalmente leva motoristas a procurarem vias que não possuam tais corredores.

Figura 6: Rotas de decisões dos veículos



4 METODOLOGIA DE COLETA DE DADOS

4.1 Fila

Os pontos de medição de filas ou *Queue Counters* foram inseridos em todas as aproximações das interseções listadas na Tabela 2. O *software* foi configurado para considerar os parâmetros da Tabela 3 como indicadores da entrada ou permanência dos veículos na situação de fila.

SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

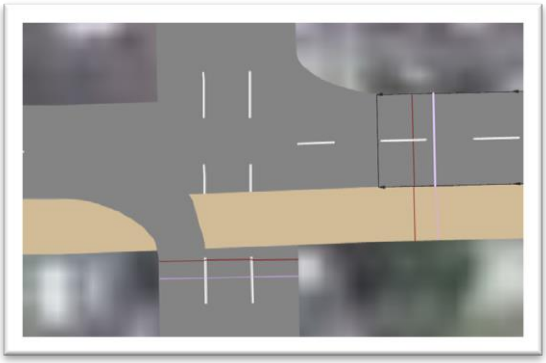
Tabela 2: Pontos de verificação de fila

Interseções
Almirante Barroso x Humaitá
Almirante Barroso x Antonio Baena
Almirante Barroso x Governador José Malcher x Ceará
Governador José Malcher x José Bonifácio
Governador José Malcher x Alcindo Cacela
Governador José Malcher x Quintino Bocaiúva
Nazaré x Quintino Bocaiúva
Nazaré x Alcindo Cacela
Nazaré x José Bonifácio
Gentil Bittencourt x Quintino Bocaiúva
Gentil Bittencourt x Alcindo Cacela
Gentil Bittencourt x José Bonifácio
Almirante Barroso x Praça da Leitura (São Brás)

Tabela 3: Caracterização da situação de fila

Máxima distância entre veículos	5 metros
Velocidade de entrada na situação de fila	< 5 km/h
Velocidade de saída da situação de fila	> 10 km/h

Figura 7: Exemplo de contadores de fila (linha rosa) antes de semáforos.



SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

4.2 Velocidade

As velocidades foram analisadas para diversas rotas (Tabela 4) principais da rede montada. Para se obter esses dados, somou-se os tempos e as distâncias de percurso obtidos pela função *Link Evaluation* para todos os *links* que compõem cada rota. Esses números foram utilizados para se obter a velocidade média do trecho, individualizada para cada tipo de veículo e, como citado anteriormente, para intervalos de 15 minutos. O desenho detalhado de cada rota se encontra no CD em anexo.

Tabela 4: Rotas avaliadas nos cenários

Atual	Fase 1/ Fase Plena
Almirante Barroso - Governador Malcher	Almirante Barroso - Governador Malcher
Gentil Bittencourt	Gentil Bittencourt - faixa da esquerda
	Gentil Bittencourt - faixa da direita
Gentil Bittencourt - Almirante Barroso	Gentil Bittencourt (faixa da direita) - Almirante Barroso
Nazaré - Almirante Barroso	Nazaré - Almirante Barroso
José Bonifácio - Almirante Barro	José Bonifácio - Almirante Barroso
José bonifácio	José bonifácio
Alcindo Cacela - Gentil Bittencourt – Almirante Barroso	Alcindo Cacela - Gentil Bittencourt (faixa da direita) – Almirante Barroso
Quintino Bocaiúva	Quintino Bocaiúva
Humaitá (sent. J. Paulo II)	Humaitá (sent. J. Paulo II)
Humaitá (sent. 25 de Setem.)	Humaitá (sent. 25 de Setem.)
Antonio Baena	Antonio Baena

SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

4.3 Volume de veículos e número de pessoas transportadas

Para essa verificação foi utilizada a função *Data Collection Point* no início e fim de cada via da Tabela 5, assim como em algum ponto intermediário. A partir do fluxo de cada tipo de veículos nos pontos citados é possível determinar pelas ocupações da Tabela 6 a quantidade de pessoas efetivamente transportadas (as ocupações são as mesmas utilizadas para o dimensionamento operacional do sistema nas Fases 1 e Plena). Esse dado é imprescindível na análise de benefício de implantação do BRT, ao indicar quantas pessoas estão sendo beneficiadas pelo sistema.

Tabela 5: Vias de verificação de volume

Vias
Almirante Barroso
Humaitá
Governador José Malcher
José Bonifácio
Alcindo Cacela
Quintino Bocaiúva
Nazaré
Gentil Bittencourt

Tabela 6: Ocupação por tipo de veículo

Código	Veículo	Capacidade	Ocupação	Pass/veíc (média)
10	Carros	5	30%	1,5
20	Caminhões	2	75%	1,5
30	Ônibus	80	80%	64
32	Padron	105	85%	89,3
33	Micro	22	90%	19,8
34	Midi	54	80%	43,2
35	BRT	170	90%	153,0
37	Menor Capacidade	32	90%	28,8

4.4 Capacidade

Com os dados de volume coletados e os tempos semafóricos é possível também verificar a capacidade nas aproximações de interseções. Essa análise foi feita pelas expressões

SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

apresentadas no segundo tópico deste relatório. É feito o quociente entre o volume medido e a capacidade, obtendo-se um parâmetro que varia entre 0 (inexistência de fluxo) e 1 (via completamente saturada). Foram escolhidas duas interseções para a análise: José Bonifácio x Governador José Malcher e Alcindo Cacela x Gentil Bittencourt.

5 RESULTADOS

Os resultados apresentados nesta seção decorrem da coleta de dados citada anteriormente e cada parâmetro serviu como indicativo da funcionalidade do sistema. Foram feitos comparativos entre cada cenário com o objetivo de identificar como a implantação do corredor de BRT afetará a circulação local. Após a análise do tráfego misto, são apresentados os resultados dos parâmetros já citados para o sistema BRT. A Tabela 7 traz os resultados dos cenários Atual e Fase 1 para o comprimento médio de fila.

Tabela 7: Evolução das filas entre o momento atual Atual e a Fase 1

Atual		Fase 1		Variação
Ponto	Fila (m)	Ponto	Fila (m)	
A. Barroso 1	160,69	A. Barroso 1	2,59	-98,39%
1A. Barroso 2	27,89	A. Barroso 2	12,13	-56,51%
A. Barroso 3	383,12	A. Barroso 3	386,05	0,76%
A. Barroso 4	22,3	A. Barroso 4	18,6	-16,59%
A. Barroso 5	234,19	A. Barroso 5	261,07	11,48%
A. Barroso 6	13,67	A. Barroso 6	59,39	334,46%
A. Barroso 8	19,22	A. Barroso 8	7,44	-61,29%
A. Barroso 9	188,03	A. Barroso 9	336,67	79,05%
Baena 1	35,09	Baena 1	97,11	176,75%
Cacela 1	157,29	Cacela 1	193,4	22,96%
Cacela 2	213,49	Cacela 2	294,21	37,81%
Cacela 3	187,18	Cacela 3	179,34	-4,19%
Ceará 1	18,5	Ceará 1	26,61	43,84%
Gentil 1	190,39	Gentil 1	136,73	-28,18%
Gentil 2	326,42	Gentil 2	416,43	27,57%
Gentil 3	417,29	Gentil 3	422,95	1,36%
Humaitá 1	6,25	Humaitá 1	35	460,00%

SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

Atual		Fase 1		Variação
Ponto	Fila (m)	Ponto	Fila (m)	
Humaitá 2	30,75	Humaitá 2	45,95	49,43%
José B. 1	407,5	José B. 1	438,19	7,53%
José B. 2	214,03	José B. 2	198,58	-7,22%
José B. 3	253,12	José B. 3	350,44	38,45%
Leitura 1	2,66	Leitura 1	231,16	8590,23%
Leitura 2	**42,41**	**Leitura 2 - Bus**	**0,34**	**-99,20%**
Malcher 1	9,78	Malcher 1	7,84	-19,84%
Malcher 2	61,09	Malcher 2	335,81	449,70%
Malcher 3	23,02	Malcher 3	15,28	-33,62%
Nazaré 1	160,21	Nazaré 1	217,71	35,89%
Nazaré 2	90,32	Nazaré 2	18,26	-79,78%
Nazaré 3	6,79	Nazaré 3	92,1	1256,41%
Nazaré 4	13,68	Nazaré 4	109,11	697,59%
Quintino 1	13,76	Quintino 1	16,9	22,82%
Quintino 2	19,32	Quintino 2	15,4	-20,29%
Quintino 3	194,2	Quintino 3	207,1	6,64%

A nomenclatura dos pontos de medição é detalhada no CD em anexo. É importante ressaltar que o ponto “Leitura 2” apresenta denominação *Bus* na Fase 1 devido ao projeto de implantação do BRT que altera a via de tráfego misto para somente tráfego de veículos do serviço básico, explicando também a redução de quase 100% das filas nesse ponto.

Como pode ser observado, há uma tendência de aumento do comprimento médio de filas, indicando a piora no tráfego misto com a implantação do BRT. Entretanto, algumas aproximações apresentam resultados de melhora da situação de filas. Essas ocorrências podem ser explicadas ao se observar os resultados do cenário Fase Plena (CD em anexo). Esse último apresenta redução das filas em relação a Fase 1 em determinados locais, apesar do aumento projetado do número de veículos. Essas melhoras pontuais, tanto na Fase 1 quanto na Fase Plena, podem ser explicadas pela redução e rearranjo gradual de linhas de ônibus convencionais (serviço básico) a medida que o sistema BRT é implantado. Linhas de transporte público em tráfego misto tendem a piorar as condições de trânsito por possuírem velocidade reduzida ou realizarem muitas paradas.

SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

Tabela 8: Variação de velocidade entre os cenários Atual e Fase 1

Rota	Velocidade Média por Tipo de Veículo (km/h)								
	Atual			Fase 1			Variação (Atual - Fase 1)		
	Carros	Caminhões	Ônibus	Carros	Caminhões	Ônibus	Carros	Caminhões	Ônibus
Almirante Barroso - José Malcher	13.95	13.19	9.08	5.20	5.31	11.52	**-62.71%**	**-59.78%**	**26.85%**
Gentil Bittencourt (faixa da direita)	6.47	5.95	5.50	4.98	4.63	6.80	**-31.14%**	**-30.65%**	**23.62%**
Gentil Bittencourt (faixa da esquerda)				3.93	3.63	Ñ APLIC.			
Gentil Bittencourt - Almirante Barroso	7.97	7.44	5.93	5.80	5.52	6.56	**-27.21%**	**-25.87%**	**10.54%**
Nazaré - Almirante Barroso	17.16	16.18	11.20	10.56	9.65	8.50	**-38.45%**	**-40.37%**	**-24.11%**
José Bonifácio - Almirante Barroso	9.12	8.97	8.01	8.41	8.28	6.80	**-7.84%**	**-7.70%**	**-15.08%**
José Bonifácio	9.87	9.96	10.56	4.06	4.00	4.39	**-58.91%**	**-59.85%**	**-58.45%**
Alcindo Cacela - Gentil Bittencourt - Almirante Barroso	6.73	6.45	5.05	7.31	6.83	7.21	**8.59%**	**5.81%**	**42.85%**
Quintino Bocaiuva	12.75	13.00	13.10	7.80	9.76	7.57	**-38.80%**	**-24.93%**	**-42.20%**
Humaitá (sentido João Paulo II)	19.75	19.22	19.29	14.27	13.96	9.51	**-27.75%**	**-27.36%**	**-50.73%**
Humaitá (sentido 25 de Setembro)	16.06	32.44	24.02	5.19	5.93	Ñ APLIC.	**-67.68%**	**-81.71%**	**Ñ APLIC.**
Antonio Baena	16.37	25.44	10.37	12.62	15.38	9.91	**-22.90%**	**-39.54%**	**-4.48%**

Já a Tabela 8 mostra como a velocidade média nas rotas escolhidas é afetada pela implantação da primeira fase do BRT Belém e as velocidades do cenário Atual foram condizentes com velocidades médias observadas por meio do Google Maps.

A medição da rota referente à Avenida Gentil Bittencourt é divida nas faixas da esquerda e da direita para os dois cenários futuros, pois o corredor está com implantação prevista para a faixa do meio. Os dois campos colocados como “Não aplicável” para a movimentação de ônibus, Gentil Bittencourt (faixa da esquerda) e Humaitá (sentido 25 de Setembro), ou não possuem rotas de transporte público, ou estas somente existem em pequenos trechos.

As conclusões são semelhantes às da avaliação quanto às filas, na qual houve uma piora geral da circulação (a Fase Plena apresentou tendências de variação similares à Fase 1). Novamente, ocorreram melhoras pontuais nas velocidades médias especificamente para

SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

ônibus nas rotas “Gentil Bittencourt” e “Genitl Bittencourt – Almirante Barroso” e para todos os veículos na “Alcindo Cacela – Gentil Bittencourt – Almirante Barroso”.

Pelo já analisado as simulações mostraram que as condições de trânsito tendem a piorar à medida que se implanta o BRT, situação esta já esperada, pois o corredor ocupa uma faixa de rolamento das principais vias do centro. É importante também considerar o aumento de frota estimado entre os anos correspondentes a cada cenário, saturando ainda mais as vias.

A análise de volumes/passageiros foi realizada comparando-se o Cenário Atual com o cenário Fase 1 e o cenário Atual com o cenário Fase Plena. Considerando a ocupação anteriormente apresentada, uma vez que o BRT possui maior capacidade de transporte, os resultados abaixo são condizentes com o que se espera com a implantação deste tipo de tecnologia. Desta forma, embora haja consideráveis aumentos de congestionamentos em algumas avenidas avaliadas para o tráfego misto, como observado nos tópicos anteriores, o benefício do BRT tem um maior alcance em números de pessoas atingidas, como observa-se nas figuras abaixo, onde para a Fase 1 a proporção não sofre grande influência, uma vez que o BRT ainda está com operação muito limitada, porém para a Fase Plena já se observa maior proporção para o transporte coletivo, com maior ênfase ao Sistema BRT.

Figura 8: Participação dos modos de deslocamento pelo número de passageiros – Cenário Atual

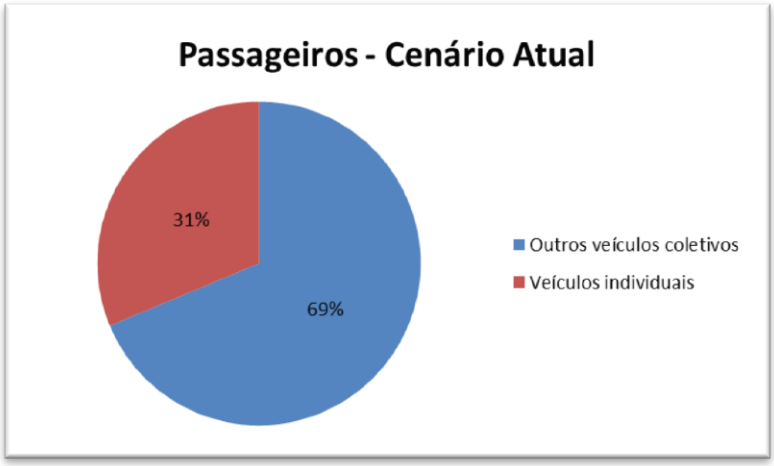


Figura 9: Participação dos modos de deslocamento pelo número de passageiros – Cenário Fase 1

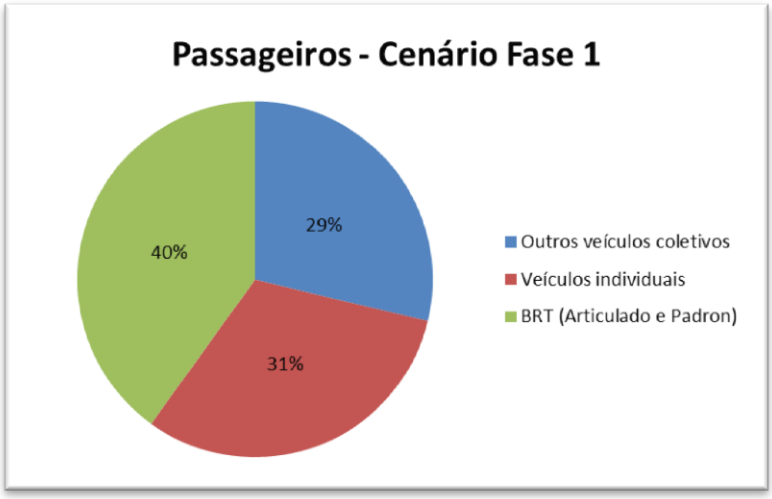
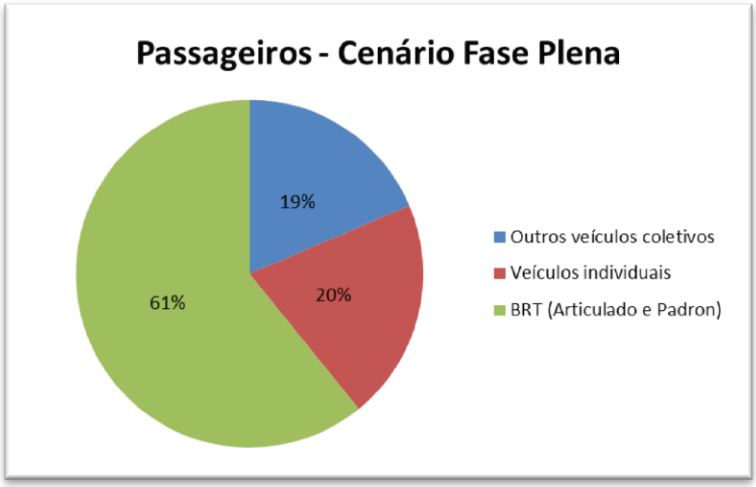


Figura 10: Participação dos modos de deslocamento pelo número de passageiros – Cenário Fase Plena



A Tabela 9 abaixo traz as velocidades médias e comprimentos máximos de fila obtidos nos corredores de BRT. Esses dados mostram que o serviço em pista exclusiva possui boa velocidade e fila muito reduzidas se comparadas ao serviço em tráfego misto.

SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

Tabela 9: Resultados para os corredores de BRT

Parâmetro	Fase 1	Fase Plena
Velocidade Média (km/h)	25	20
Fila máxima (m)	26,36	4,32

Como comentado, a Fase 1 não apresenta significativo aumento na proporção de pessoas utilizando o transporte público. Entretanto, a Figura 9 mostra que mais da metade dos passageiros que hoje utilizam o serviço convencional, podem se beneficiar com o uso do serviço BRT. Ou seja**, mais passageiros passariam a utilizar um transporte mais rápido e eficiente.** Já a Fase Plena apresenta **61% dos passageiros utilizando o sistema BRT**, melhorando ainda mais a movimentação de pessoas dentro do modelo.

Os resultados das simulações evidenciam que, apesar da implantação do BRT prejudicar o tráfego misto de veículos, **mais passageiros são beneficiados, melhorando a circulação como um todo**. Ainda é possível perceber que esse revés ao tráfego é suavizado pela retirada ou rearranjo de linhas de ônibus convencionais.

Por fim, foi verificada a relação volume/capacidade das duas interseções citadas. Os resultados são apresentados na Tabela 10 (os cálculos completos se encontram CD em Anexo).

Tabela 10: Análise de capacidade nas interseções – Atual x Fase 1

Aproximação	Volume/Capacidade		
	Atual	Fase 1	Fase Plena
Alcindo Cacela	0.31	0.26	0.27
Gentil Bittencourt	0.30	0.38	0.39
José Bonifácio	0.39	0.49	0.32
Governador José Malcher	0.50	0.19	0.19

SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

Em nenhuma aproximação das interseções dentro dos 3 cenários o limite de capacidade foi atingido (Volume/Capacidade igual a 1). Entretanto, a análise de capacidade de interseções isoladamente não necessariamente indica a real situação de saturação naquele local, pois as interseções estão inseridas em uma malha complexa de vias.

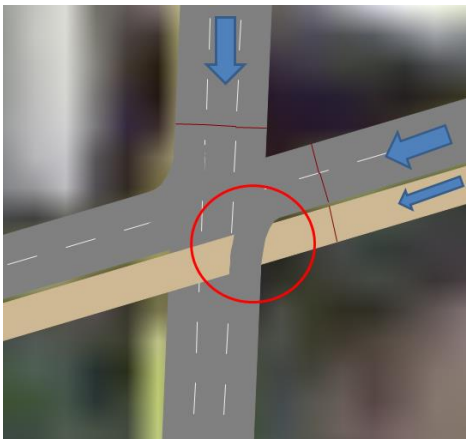
Certos pontos da rede podem agir como “gargalos” no sentido de possuírem capacidade reduzida ou movimentação elevada, gerando um congestionamento em cadeia que afeta todo o sistema. Esse feito pode ser combatido com a revisão dos plano semafóricos, como será testado para dois pontos no próximo item deste relatório.

6 ALTERNATIVAS PARA A CIRCULAÇÃO

Na construção do modelo percebe-se que a infraestrutura proposta cria algumas situações de conflito entre o tráfego misto e os corredores de BRT:

- Conversões à esquerda na Avenida Governador José Malcher;
- Conversões à esquerda ou à direita (dependendo do sentido da via transversal) na Avenida Gentil Bittencourt;
- Conversão do corredor à direita na Travessa Dom Romualdo de Seixas.

Figura 11: Conflito de conversão na Avenida Governador José Malcher

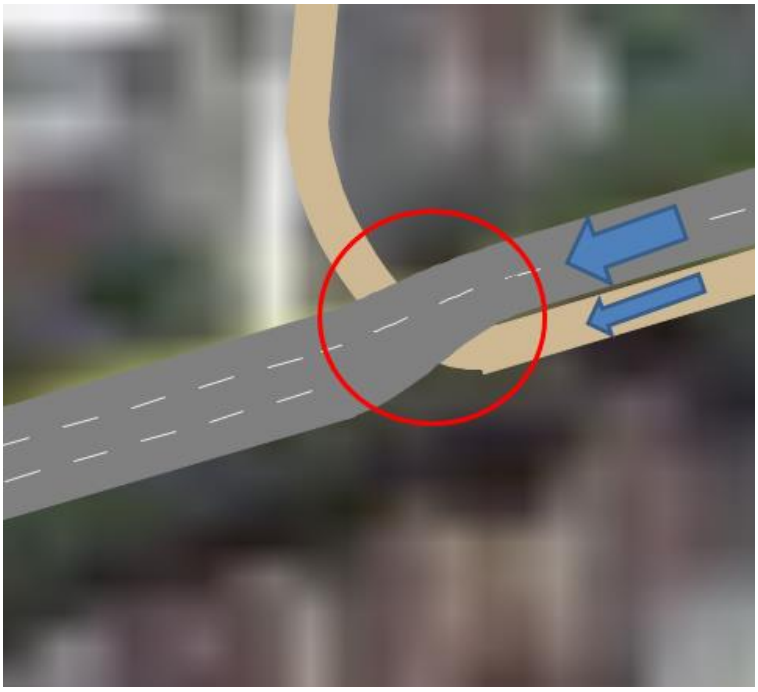


SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

Todos esse conflitos devem ser solucionados com a utilização de controladores semafóricos com fases diferenciadas entre o tráfego misto e o corredor, como também atuados pelos veículos do corredor. Tal medida irá garantir a fluidez do transporte público na via exclusiva e garantir a segurança de todos os usuários.

Figura 12: Conversão do corredor na travessa Dom Romualdo de Seixas



Como dito anteriormente, a modelagem também evidenciou pontos críticos de congestionamento, principalmente nos 15 minutos finais de simulação. A Avenida José Bonifácio teve grandes fluxos que geraram congestionamentos, afetando as vias próximas. Na tentativa de amenizar esses esfeitos, foram realizados dois testes com programações semafóricas dessas vias no cenário Fase 1:

- Teste 1: aumento de 10 segundos de verde para a aproximação da José Bonifácio na interseção com a Governador José Malcher
- Teste 2: aumento de 10 segundos de verde para a aproximação da José Bonifácio na interseção com a Avenida Nazaré

SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

Figura 13: Avenida Governador José Malcher x Avenida José Bonifácio

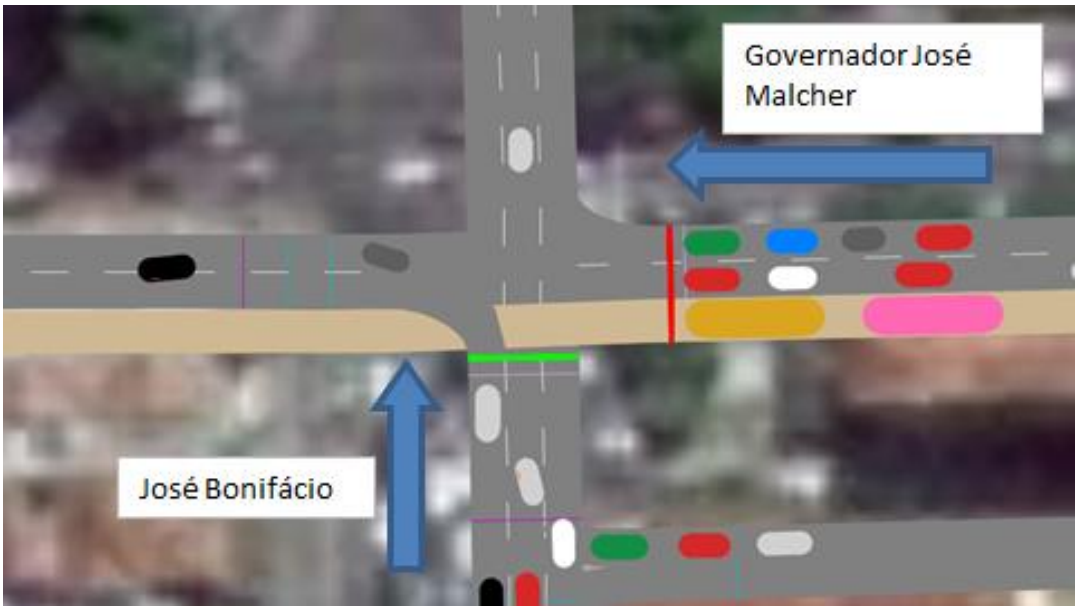
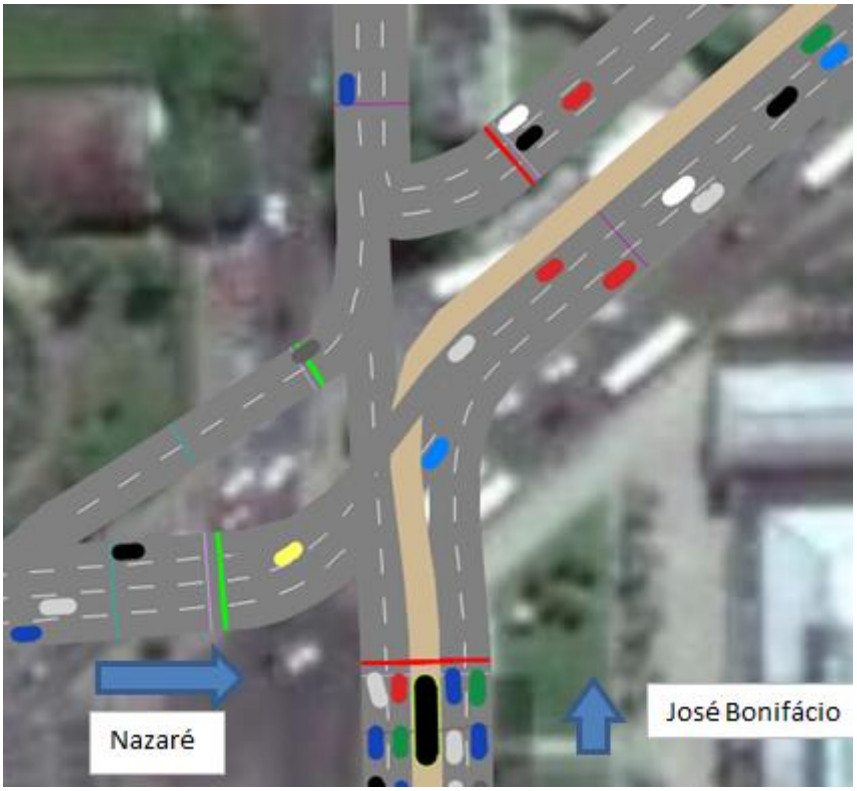


Figura 14: Avenida Nazaré x Avenida José Bonifácio



SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

Dos dois testes, apenas o Teste 1 apresentou resultados positivos para a circulação. Para tal conclusão, foram analisadas as velocidades nas rotas "Almirante Barroso – José Malcher" e "José Bonifácio" (Tabela 11), a fila média nas duas aproximações da interseção (Tabela 12), como a variação da capacidade na interseção José Bonifácio x Governador José Malcher (Tabela 13).

Tabela 11: Teste 1 – variação de velocidade nas rotas

Rota	Variação		
	Carros	Caminhões	Ônibus
Almirante Barroso – José Malcher	**4.59%**	**4.87%**	**-7.41%**
José Bonifácio	**21.54%**	**22.60%**	**20.91%**

Tabela 12: Teste 1 – variação do tamanho médio de fila

Aproximação	Variação de fila entre a Fase 1 original e o Teste 1
José Bonifácio	**-4.29%**
Governador José Malcher	**-51.05%**

Tabela 13: Teste 1 – variação da capacidade

Aproximação	Volume/Capacidade		Variação
	Fase 1	Teste 1	
José Bonifácio	0.41	0.58	**39.61%**
Governador José Malcher	0.22	0.22	**-0.70%**

A primeira tabela mostra aumento de aproximadamente 20% da velocidade média na José Bonifácio assim como um pequeno aumento para carros e caminhões na rota oriunda da Avenida Almirante Barroso. Já a Tabela 12 apresenta redução significativa de fila na Avenida Governador José Malcher e uma pequena redução na aproximação da Avenida José Bonifácio. A terceira tabela traz o esperado, já que, com maior tempo de

SMAS Trecho 03 conjunto 03 Bloco C,
sala 09/109, Edifício The Union
CEP: 70610-635 | Brasília, DF

61 3032-6303 | 61 3248-1811
www.egl.eng.br

verde, um maior número de veículos passará pela aproximação da Avenida José Bonifácio. Logo, indica-se a reavaliação do plano semafórico nesse ponto visando melhorar o fluxo na região.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente relatório buscou avaliar os impactos que a implantação da tecnologia BRT geraria na circulação do tráfego do Centro de Belém, avaliando as principais avenidas existentes e observando os principais parâmetros de tráfego: Velocidade, Fila e Saturação. Além disso, buscou-se avaliar o quanto tal implantação beneficiará a movimentação de pessoas, uma vez que a tecnologia empregada se mostrou com capacidade para alcançar velocidades muito superiores que o transporte coletivo atualmente alcança, deslocando maior quantidade de pessoas em menor espaço de tempo e com maior segurança e comodidade.

Por fim, foram apresentadas algumas alternativas para a melhora da circulação do tráfego misto em algumas vias que se mostraram mais congestionadas. As alternativas testadas visaram a modificação do tempo semafórico de algumas interseções, os quais apresentaram considerável melhora quando do aumento do seu tempo de verde.